

# 三维实体造型技术的新发展与国情

唐荣锡 刘晓强 黄永红 (北京航空航天大学)

## 1. 三维实体建模是 CAD 技术应用的大势所趋

计算机集成制造和并行工程思想所贯彻都要求整个生产环节采用统一的产品信息模型。这样的模型以三维实体几何作为基础无疑要比二维图样、三维线框和表面模型更加严密、完整。据 1991 年 6 月报道,波音 777 新一代大型客机的机体设计中 50% 零件用三维实体构造了 50% 细节,这是飞机设计史中的一个吉尼斯纪录。它也反映了产品设计中的一个总趋势,即产品的形状和结构越复杂,采用三维几何打样的优越性也就越突出。正是这种工程应用上的需求推动了实体造型技术近年来的迅速发展,各个最有名的 CAD 软件厂商竞相推出新产品。1993 年 3 月 9 日美国 SDRC 公司宣布了 I-DEAS 的全新版 Master Serres。它不是原来 I-DEAS 6.0 版的更新,而是历经 1450 人年重新开发的 1.0 新版,自称是具有革命性突破的新一代机械 CAD/CAE/CAM 系统。Schlumberger 公司的 Applicon 软件在 1991 年制订了名为 Crescendo 的五年开发计划,以求更好适应下一世纪的制造业要求,1992 年 10 月推出了 Crescendo 计划的第一期成果 Bravo 4.0.EDS UNIGRAPHICS 软件将在 1993 年发放 10.0 版,自称这是一个雄心勃勃的发展计划。CV 公司宣布了新一代开发用开放资源系统 DORS。PTC Pro/Engineer 仍旧保持每年定期推出两个更新版的势头,在 1992 年 5 月 25 日 Business Week 评出的美国 100 家最佳小公司中名列前茅。CDC 公司在 1992 年 5 月实行改组,从大型机专业制造厂商转向开放系统集成厂商,迅速扭转了亏损形势连续获得盈利。激烈的市场竞争推动各家厂商认真研究技术和经营对策,加快产品更新的节奏,使得用户坐享其成,在 CAD 系统配置上有广泛的挑选余地,同时也觉得眼花缭乱,无所适从。从另一方面,这种形势也为自主开发国产 CAD 软件增加了难度,加重了压力。

## 2. 实体造型技术面向集成化制造和并行工程

近几年来实体造型软件都在增加有以下功能:

(1)在理论体系上摆脱了实体表示和布尔运算的正规集和二维流型的束缚,允许产品几何模型任意组合使用线框、曲面和实体元素;一条边可以为任意多个面共享,一个顶点可以有任意多个面锥(也称伞或束)。

(2)实体模型的表面采用精确的解析方程或参数曲面表示,不再用小平面逼近。曲面造型和实体造型技术相互融合,形成单一的产品几何模型。

(3)设计可以从勾划草图开始,采用变量化的约束驱动和尺寸驱动原理,具体的尺寸标注值经过修改后系统自动修改几何图形。设计工作可以灵活改变方案和回溯。传统的布尔运算耗费时间多,不十分可靠,正在采用新的形体拼合处理方法谋求补救。

(4)系统内维持单一的产品三维几何模型,任何一个应用环节都可以修改这一模型(当然要经过严格的审批手续),例如修改二维图,从数控加工的要求出发加大零件某些部位的圆角半径。为了保证装配精度改变某些尺寸的标注基准等等,这些修改可以自动传递到所有有关应用环节,使得建立的派生文件(三维工程图、数控加工走刀轨迹、装配工艺单等)随时保持正确无误。并行工程的要点就是早在产品的方案设计阶段就组成综合协调小组,促使产品设计从一开始就兼顾整个生产和售后服务过程的全局,谋求企业最高的总体效益。产品模型和应用环节的相关性(associativity)无疑是十分重要的。

(5)引入特征技术,使得产品设计和工艺过程设计、加工编程等都在功能形素的高层次上进行。功能形素有定型的语义,象轴颈、键槽、螺钉孔、销钉孔、箱体、箱盖等,各有相应的设计和加工规则,可以在 CAD/CAM 系统中引入知识库和规范库,向智能化决策和求解迈进。

(6)扩大系统的集成化综合能力,从 CAD 模块的产品几何模型出发可以直接进入工程分析(有限元、运动学、动力学、注塑流变过程模拟等),工艺过程制定,数控加

工和测量编程,装配误差尺寸链分析,加工中心和柔性单元控制,……。一方面各个厂商扩大软件开发范围,自己增加功能,另一方面扩大横向联合,提出 / everage / focus 的口号:既要“有饭大家吃”,推动其它企业共同繁荣;同时又要保持自己的领先地位,发挥自己独特优势。

(7)加强集成化网络数据管理功能,将 CAD 系统纳入整个企业的生产技术的经营管理体制。象 CDC 的 EDL 工程数据管理系统、DEC 的 Power Frame 并行工程设计管理框架、UG 的 Informanager 面向产品的结构化工程数据管理系统等都在迅速发展。

(8)完善用户界面,简化操作过程,将菜单层次减少到两层,用户命令总数控制在 200 个以内。尽量让系统猜测用户意图,主动提示下一步的操作目标。加强显示的直观性,实时产生产品的真实感明暗图,明暗模型可以剖切、旋转,直接施加载荷和约束,让系统自动产生有限元计算模型。提供产品的性能分析、运动协调、切削加工、机床装夹、机器人操作等等图形仿真。

(9)采用标准化、开放性运行环境,提高与外系统的兼容和数据交换能力,保护用户过去在老版本和异种系统的产品设计和软件二次开发上所作的成果。

以上每一个条目都有丰富的具体内容,可以参看各家公司的产品介绍。这些内容的实现方法也足够写出几十篇硕士和博士学位论文,是长期的技术积累结果。

### 3.结合国情首先打好 CAD 技术应用和软件开发的基础

三维实体造型在技术上先进,但它的应用仍要受到企业资源条件、技术发展水平、产品特点等的制约。以美国波音公司为例,它用实体造型构造了 777 新一代大型客机机体 50%零件的 50%细节,剩下的 75%零件结构细节用什么方法来完成?只可能是二维绘图和三维线框。据 1988 年 8 月的统计,波音当时设计客机的全部图纸中,手工绘制的占 81.8%。其中一个重要原因是从 737 到 767 都尽量继承生产中已经定型的成熟结构,而这些结构过去都是手工出图的。1992 年秋日本京都大学冲野教郎教授来清华大学讲学,提到日本工业界至今 97%至 99%用二维绘图 CAD 系统完成设计打样。这里主要是工程技术人员和工厂生产组织的传统习惯起作用。CAD 技术的应用需要开展相应的技术培训,技术和生产管理体制的改造,计算机资源的筹建和扩充,这些也

都需要时间。波音公司从 1986 年起开始引进法国达索公司的 CATIA 软件,逐年扩大图形工作站数量,至今达到二千个。1989 年秋波音计算机服务部门谈:“每个图形工作站运行 CATIA 软件,将 IBM 主机费用、软件费用等累加分摊,每年折合十万美元。二千个工作站就是二亿美元。”这样的开支规模目前我国的企业还难以承受。由此不难得出结论,较低层次的二维绘图和三维线框造型技术,在今后相当长的时间里还会有强大的生命力。要想打好 CAD 技术的应用基础,首先就要抓好二维绘图和三维线框设计技术的掌握和生产应用。在新一代 CAD 系统中,二维绘图、三维线框、曲面和实体造型技术都是混合使用,决没有孤立的实体造型软件。尤其需要注意的是,我国工厂当前生产的产品大多是用手工方式设计的。这类产品的结构形式和尺寸标注并未考虑 CAD/CAM 技术的工艺性要求。当将这些图纸输入计算机,尝试建立产品的三维几何模型和进行数控加工时就会发现很多困难,象过渡区的几何定义不充分,结构琐碎,给定的尺寸约束不适应曲面构造的规律等等。束缚了 CAD 技术优势的发挥。

图 1 是北京汽车水泵厂的一种水泵壳体,用我们自主开发的 Panda4 软件严格按照工厂图纸构造出的三维模型。

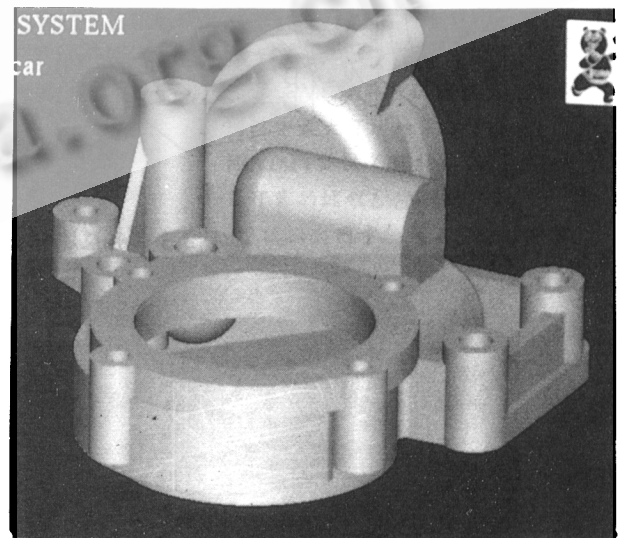


图 1 汽车冷却水泵壳体明暗图

这类零件的形状初看很规则。适宜用体素拼合方法

构造。实际上对照图纸,就会发现原体内的型腔和流道形状只能用裁剪曲面表示。我们的具体作法是首先按图纸构造线框模型,再在线框边界内产生插值曲面。个别部分则是先构造曲面,再用裁剪方法取出需要部分。图2是水泵壳体的线框图。图3是水泵壳体铸模的下模建立线框边界模型的几个主要步骤;左上图是选取不同的工作平面,在工作平面上构造二维轮廓线;左中和左下图是利用其它工作平面追加更多的边界线框;右上图是手

工消隐的下模轴测图;右下图是模具主要轮廓线的俯视图。以上线框模型经过蒙面后生成的明暗图见图4。

用以上方法我们还按工厂图纸构造了发动机连杆、气缸盖、机床主轴箱、直升机旋翼桨毂和桨叶、潜油泵叶轮等。构造这些复杂零件很艰苦,往往读图就要耗费一个星期,中途还要返工,但是最终都得到了较满意的结果。水泵壳体的铸铁模已经加工完毕,证明 Panda4 具备了初步的实用性。

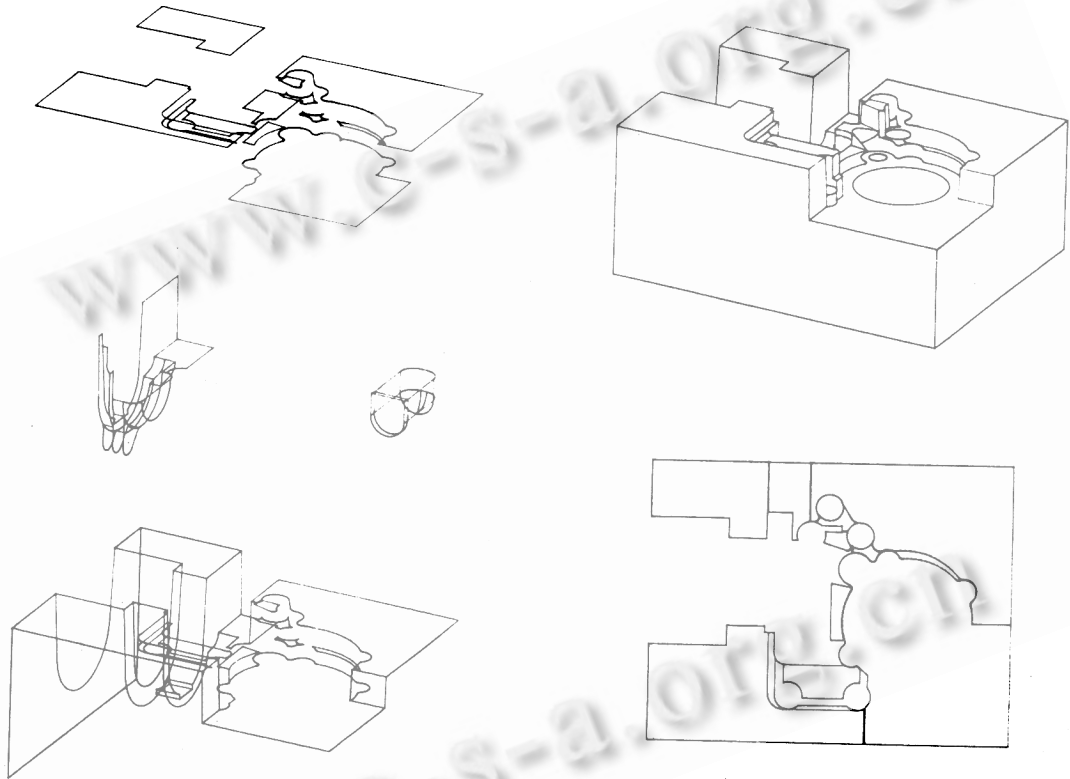


图3 水泵壳体铸模的线框模型构造过程

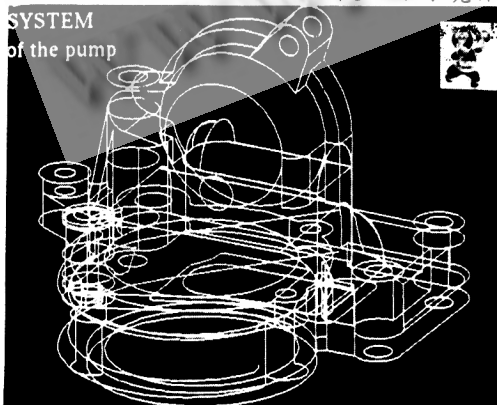


图2 水泵壳体的线框模型

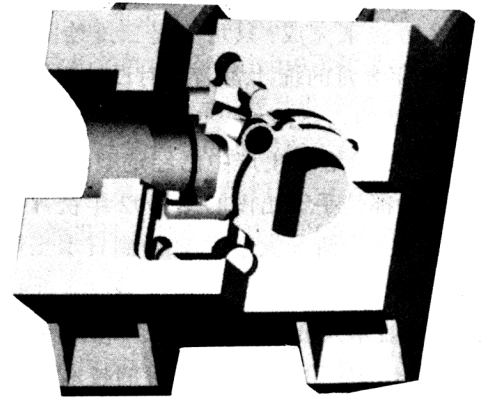


图4 铸模的明暗图